

# 程序控制扫描图象分析装置及其在医学图象处理中的应用

吴加金 张学中 陈洪文 傅维璋

(军事医学科学院基础医学研究所)

## 摘要

本文介绍了一种医学图象分析系统。该系统用阴极射线管作扫描光源,由 PDP-12 小型电子计算机控制,在 35 毫米胶片上借助简单的光学系统进行扫描。透过胶片的光信号转换成电信号,贮存在计算机内存并进行处理。

系统的扫描精度是  $512 \times 512$  象素,多于 8 个灰度等级,有多种功能的软件,灵活简单,易于扩展到所提出的各种问题。本系统很适用于小型电子计算机。

为了能在小型电子计算机上获取图象信息并进行处理,本文提供了一种简单的图象输入装置。即利用电子计算机显示器作扫描光源,在计算机程序控制下,显示器上的光点

经过简单的光学系统对 35 毫米胶片上的图象进行扫描,然后将光信号变成数字信号输入到计算机的内存或记到磁带上。这样,只要在小型电子计算机上增加少量的硬件设备就能实现图象的自动分析工作。试用结果表明,不仅可用它测量两值图形的面积,而且还可以分析 8 个以上灰度级别的图象。

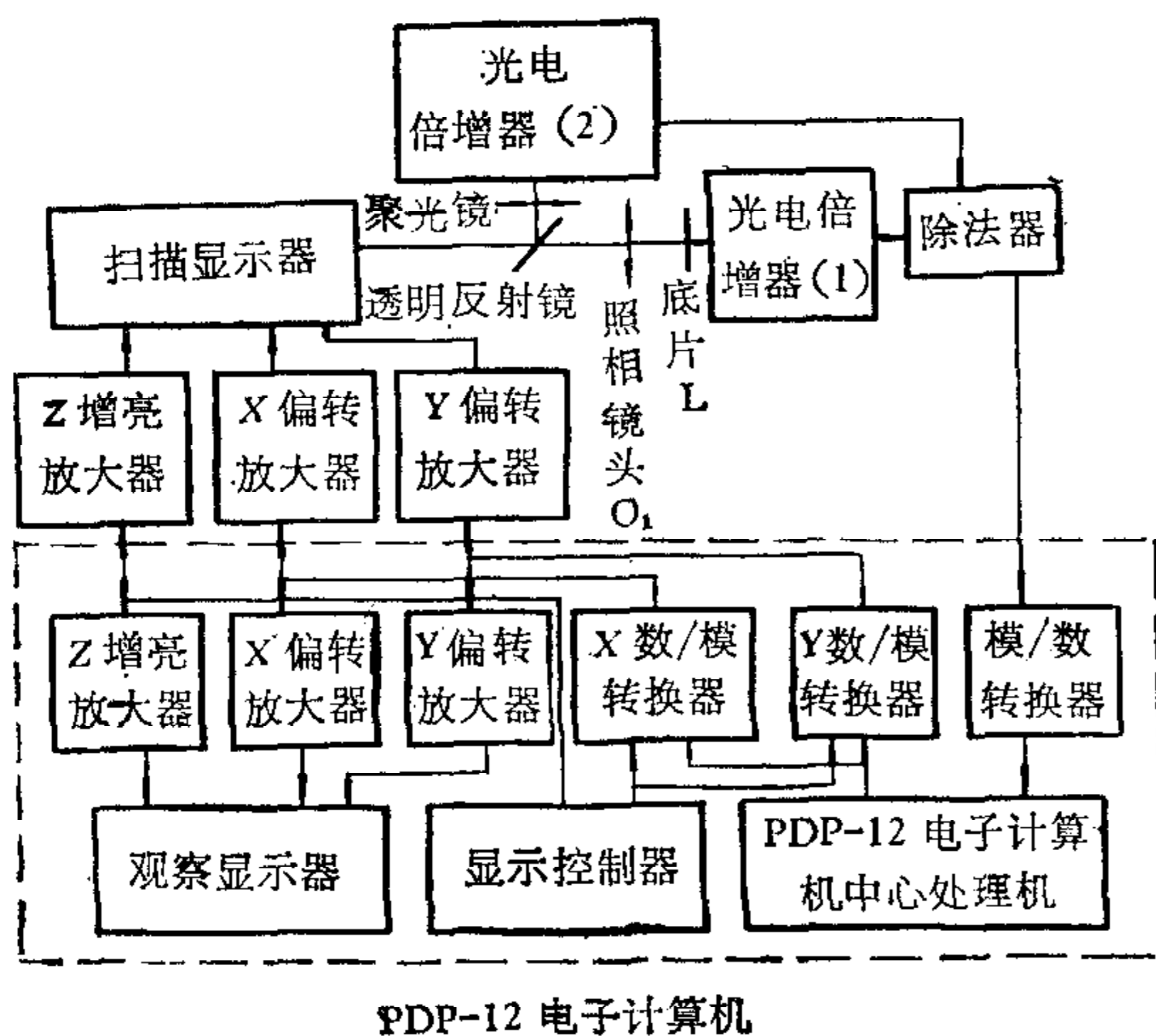


图 1 程序控制扫描图象分析装置原理图

1. 图中虚线框以外的部分是作者研制或选购的国产部件。在 PDP-12 电子计算机控制下,扫描显示器形成光点用作扫描光源。显示屏上的光点经过反射镜分成两束光,一束经过透镜  $O_1$  成象在胶片  $L$  上,另一束经过透镜  $K$  聚焦在光电倍增管 2 上,当显示屏上的光点以一定格式扫描时,荧光屏扫描光栅的每一个点就通过透镜组  $O_1$  成象在胶片  $L$  上。如

## 一、原理、设备与调试

### 1. 原理

本装置及它与计算机的联机原理见图

果胶片上有图象,扫描光透过胶片  $L$  的强度就随胶片  $L$  上图象的灰度不同而变化,经光电倍增管 1 转换后,输出不同幅度的电压信号,其电压幅度与胶片  $L$  上的灰度存在对应关系。为减少光点亮度波动及全屏亮度的不均匀对光电倍增管 1 输出电压信号的影响,采用参考光束 2,这束光经过光电倍增管 2 转换成电压信号  $Y$ ,和光电倍增管 1 输出的电压信号  $Z$  一起输入到除法器,除法器输出的信号为  $X = \frac{Z}{Y}$ 。由于  $Z$  和  $Y$  是由同一光点分光而成,因此,  $X$  可降低扫描光源波动及屏不均匀的影响。除法器输出信号  $X$  经模-数转换器转换成数码存入计算机的内存贮器,计算机内存贮器所存的数字图象就是胶片  $L$  上图象的编码。

## 2. 设备与调试

扫描光源是一台由程序控制扫描的显示器。该显示器的显示屏采用 12 吋电视显象管,利用 PDP-12 计算机显示控制器的输出信号(包括  $X$ 、 $Y$  坐标的模拟信号及  $Z$  增亮脉冲),分别送到作为扫描用的显示器及观察用的显示器(见图 1)。图 1 中的透镜系统  $O_1$  采用普通照相机镜头, $K$  透镜用会聚透镜,光电倍增管 1 和 2 的光阴极的直径都是 4 厘米。因此,在 35 毫米底片范围内的扫描光栅上各光点都能落到光电倍增管光阴极有效面积内。通过调整照相机镜头和胶片  $L$  框架之间距离,使显示屏的光点在胶片  $L$  上成象。

扫描光点是采用脉冲光。导致显示屏光点发亮的  $Z$  增亮脉冲宽度约 3—5 微秒。因此,光电倍增管输出的电压信号是脉冲信号。为了得到在脉冲状态下除法器的输出信号  $X$  能正确反映  $Z$  和  $Y$  的变化,除法器线路要仔细调零<sup>[1]</sup>。参考信号  $Y$  的幅值应控制在 2.5—4 伏范围内。通过显示器的亮度调节和光电倍增管的高压调节可改变  $Y$  的幅度。

除法器的输出信号  $X$  不是方波。为使模-数转换器在  $X$  信号的峰值上采样,就必须合理选择计算机的采样时间。计算机发出点显示指令到显示屏上出现亮点有近 25 微秒的延迟,其目的是使流过偏转线圈的电流达到相应的最大值,以保证  $X$ 、 $Y$  坐标的准确性。当显示屏上出现亮点后,经过线路和除法器的延迟,使除法器的输出脉冲  $X$  峰值出现时间比发出点显示指令延迟 30 微秒。在这段时间里,计算机执行扫描格式处理,达到在  $X$  信号峰值附近采样。程序最小调节时间范围为 0.3 微秒,因为  $X$  脉冲信号较宽,故采样时间完全可以调节在  $X$  脉冲的峰值附近。

## 二、特点与性能

### 1. 特点

这台程序控制扫描图象分析装置与一般飞点扫描图象分析器比较,具有扫描方式灵活及设备简单的特点。也就是说,可对 35 毫米胶片上的图象按单程扫描方式进行逐行逐点扫描,扫描过程所获取的信息,可按两个灰度等级存入计算机内存的一位内,因此,PDP-12 计算机的每一个字可存 12 个象素点。当计算机内存存满 4K 后,扫描暂停并记下终点坐标,待此 4K × 12 象点的信息处理完毕,再按预先记下的终点坐标继续扫描下一段。这样安排就能以小的计算机内存贮存大量的图象信息。信息的处理可按两个灰度等级显示或暂存于外存贮器(如磁带),待全屏扫描完再处理。

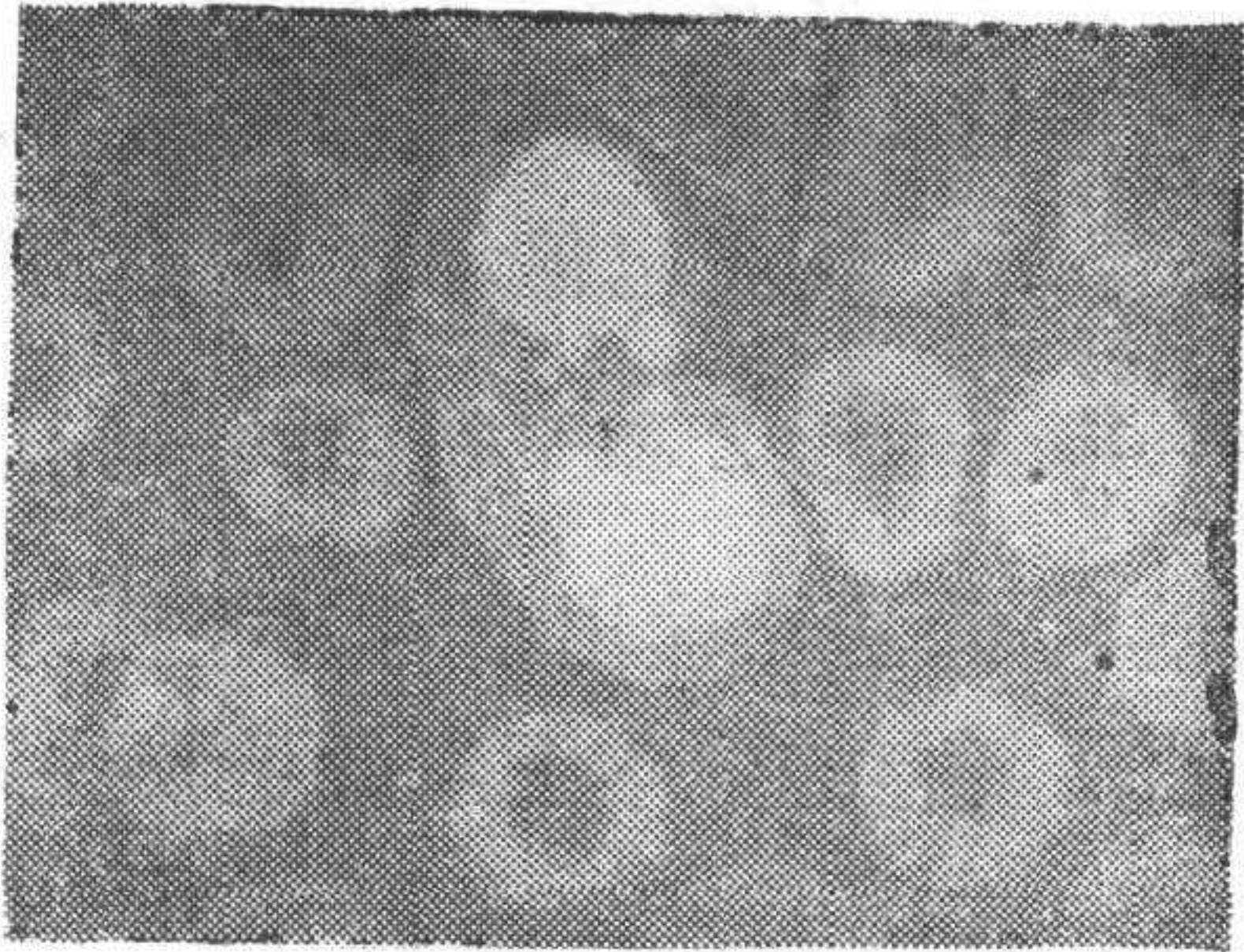


图 2 待扫描的细胞

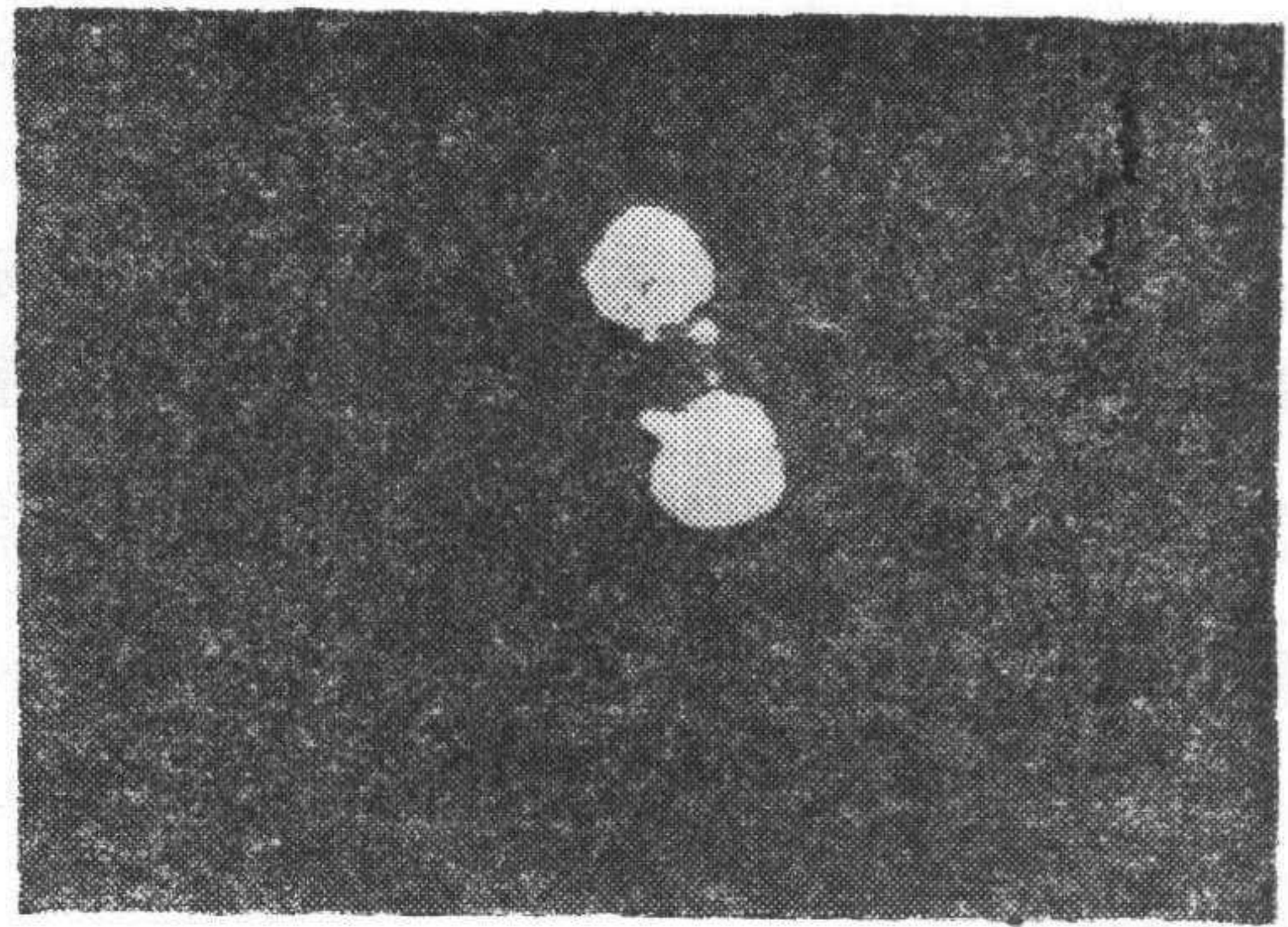


图 3 图 2 中细胞核的再现

该装置还可以开窗扫描。窗口大小、位置及扫描点间距由键盘和控制台开关输入，因此，可根据需要使用随意改变。如图 2 中的图象，可对其中的任何一个细胞进行扫描。所获取的信息可按两个灰度等级显示。图 3 是图 2 中一个细胞核形状的再现。本装置还能按多灰度等级获取图象数据进行各种处理。

这个系统所用的扫描光源是普通电视显象管，来源方便，造价便宜，光学部分也较简单。数据处理以软件为基础，便于扩大应用范围。

## 2. 性能

### 1) 图象扫描精度

所谓图象分析器的扫描精度，通常是指扫描光栅的最小栅格。本装置是对 35 毫米胶片上的图象按  $512 \times 512$  栅格进行扫描，能分辨的最小距离是 70 微米。

### 2) 扫描速度

本装置每两扫描点之间的时间间隔约 60—100 微秒（可调），完成整幅图象（ $512 \times 512$  点）全部象素输入约 30 秒。这样的采样速度可降低模-数转换器的频响，也可直接把每个象素的图象信息存入计算机内存，不需要外加高速缓冲寄存器。

### 3) 灰度等级

本装置的模-数转换器为二进制 9 位，即每个象素的灰度等级不超过 512。但由于本装置的扫描速度不如电视摄像扫描快，因此由于扫描光点光强的波动，扫描光源全屏各部位发光的不均匀性，不同部位光强的变化以及各种电子学噪声的影响，使得实际可分辨的灰度等级不能按模-数转换器转换的数字进行计算。由于测试条件的限制，也难于按文献



图 4 7 个灰度等级的照片

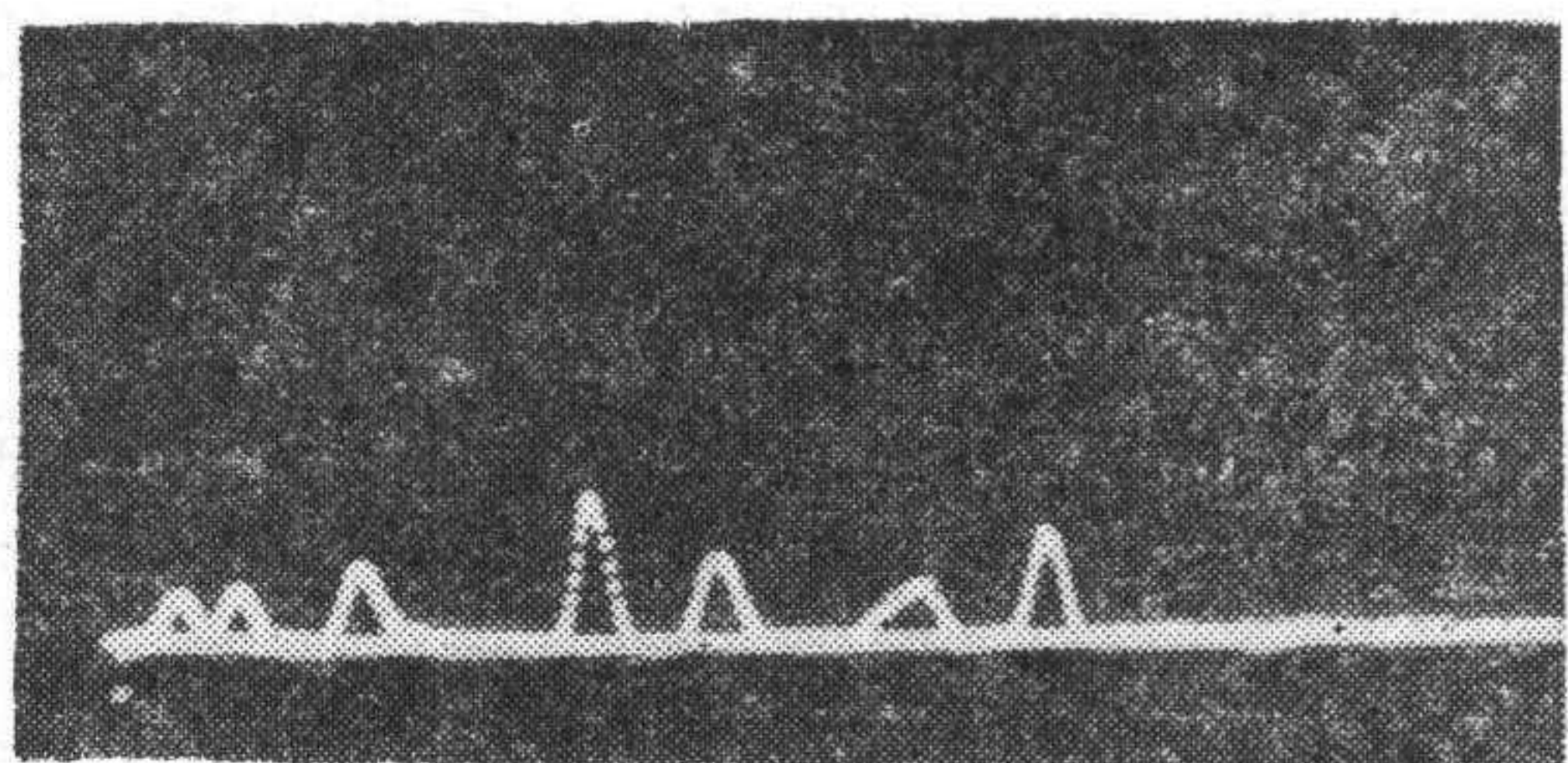


图 5 对图 4 中不同灰度等级扫描得到的透射光强直方图

[2] 中所指出的方法进行计算。为此，作者采用图 4 所示的不同灰度等级的底片进行扫描，得到透射光强直方图(图 5)。对于图 4 中七个灰度等级的底片，可以显示出相应的透射光强度频率分布的各个峰值，并将各峰清晰地分开，同时随着灰度加深，透射光强频率分布曲线的半宽也加宽。因此，实际可分辨的灰度等级可以认为大于 8 级。在讨论灰度等级时还要注意到扫描过程相邻两点的灰度能否互相干扰。由于本装置是脉冲光采样，在扫描过程中，除法器输出的是脉冲波形，如图 6 所示。相邻两点之间，当后一点脉冲出现时，前一点脉冲已完全消失。因此，各点脉冲不会相互影响。

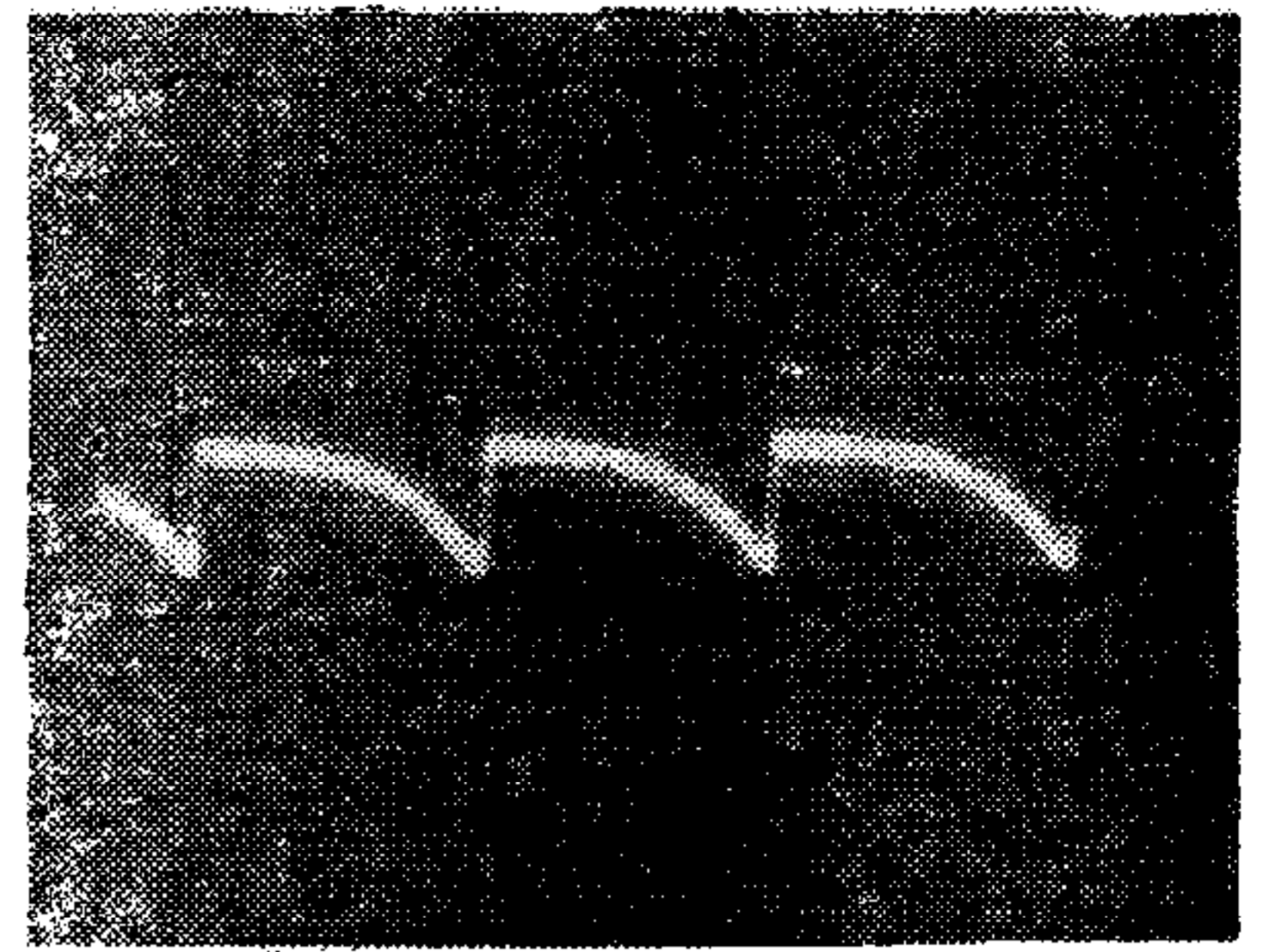


图 6 扫描时除法器输出信号波形

#### 4) 图形在不同位置测量时的误差

把面积相同的 9 个小圆形，放在测量场的中心及四周进行反复测量，结果表明，标准面积在显示屏的不同部位测量，其面积误差小于 10%。在实际应用中，一般选在测量场中心部位所以其误差要小得多。

表 1 不同部位面积测量值

位置	左	中	右
上	516	531	520
中	553	574	553
下	551	581	574

## 三、软 件

全部源程序都是用汇编语言编写的。我们联合使用了 PDP-12 计算机的两套指令系统 (LINC 型和 PDP 型)。PDP-12 计算机共有 8K 内存，均可由用户安排使用。前 4K 用于存放程序，后 4K 用于存放图象数据。由于个子程序被调用的频率和时间不同，在磁带上安排的位置也不同，具有管理性质的程序和反复引用的参数放在特定的内存区域里，很少被覆盖，全部目标程序都存在 3/4 吋的 LINC 磁带上，由计算机键盘拨入机器指令调入内存，从两个入口之一启动运行。

图 7 为程序总框图。图中 A 和 B 是两个入口。从入口 A 进入图象输入会话，有并列的七种选择，分别是完成图象输入装置的调节、试验扫描、设定分割的阈值、获取二值或多灰度的图象等，亦可直接从这一会话转入图象处理会话。从入口 B 也能进入这一会话，有并列的八种选择，都是对数字图象做进一步处理的，亦可直接返回 A，重新获取数字图象。

对这些程序的具体特点简要说明如下：

1) 对于 35 毫米胶片的图象信息，如果只对其形状进行分析，有两个灰度级别就够了，每个象点只占一个二进制的位，每个字为 12 位，可存 12 个象素；如果要分析图象上各点的光密度特征，则每个象素的灰度级别可达十进制 256，从数据的存取和记磁带的方便考虑，每个象素占一个字的单元。

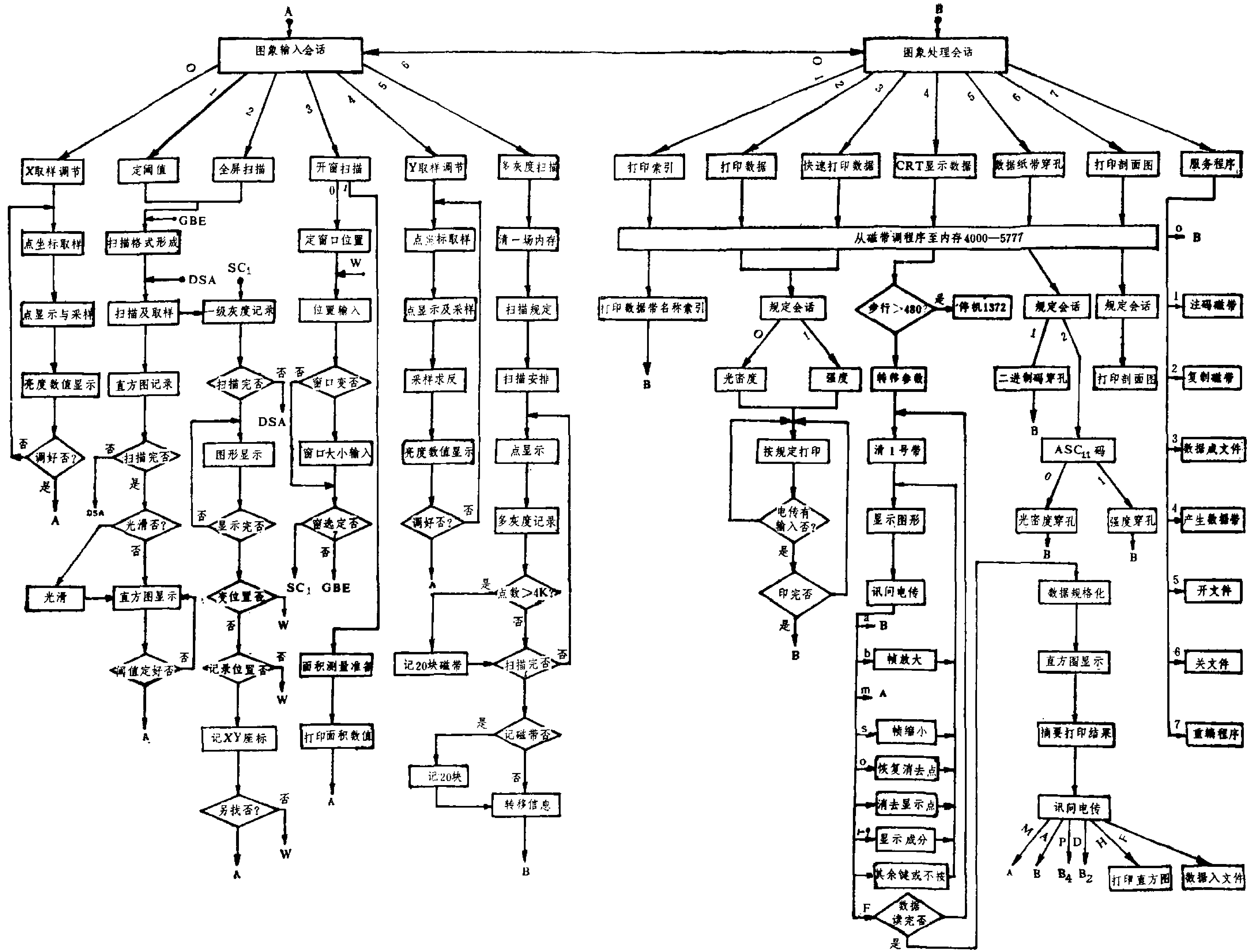


图7 系统软件总框图

图象的收集范围和任何两个相邻象点之间的步距都是由操作者通过电传打字机进行选择的。二值的数字图象的获取,需先进行透光度直方图统计,确定把图象分为黑白两部分的阈值,据此对图象进行分割,然后在显示屏上看再现的图象是否合适,如不合适,再重新设定阈值,直到满意为止,然后进行下一步处理。

2) 对所获取的数字图象要进行“规格化”处理。其实质是一种简单的线性变换,使各种不同测量条件下的结果可以互相比较。

3) 数字图形可以在显示屏上显示出来,既可显示直方图上任何两个谷点之间的测量点坐标,又可用电位器输入两个模拟测量值,使在这两个值之间的测量点都变为确定的值,也可用“消去帧”清除“噪音”。

4) 将所选底片上图形的面积、总透射光强度、总消光、平均透射光强度、平均消光以及分布偏差进行计算并打印出来。

5) 打印直方图数据,把被测图形数据的相对值按表 2 形式打印输出。表中最左边一行 RANGE 为透射光百分数,其中 0 表示 0—5%; 5 表示 5—10%; 余类推。最右边一行 RANGE 为消光数值区间,其中 255 表示透射光 0—5% 对应的消光值为 130—255; 同样, 130 表示 100—130; 余类推。INTENS 表示这个范围的透光强度之和; AREA 表示该范围所占面积(点数); ABSORB 表示该范围消光之和。对应以上三个值都算出了所占百分

表 2 直方图打印输出

RANGE	INTENS	0/0	AREA	0/0	ABSORB	0/0	RANGE
0	18	3	70	175	17179	499	255
5	66	11	9	23	1026	30	130
10	132	22	11	28	1017	30	100
15	237	40	13	33	962	28	82
20	139	23	6	15	381	11	70
25	25	4	1	3	59	2	60
30	0	0	0	0	0	0	52
35	0	0	0	0	0	0	46
40	0	0	0	0	0	0	40
45	0	0	0	0	0	0	35
50	0	0	0	0	0	0	30
55	0	0	0	0	0	0	26
60	0	0	0	0	0	0	22
65	0	0	0	0	0	0	19
70	0	0	0	0	0	0	15
75	0	0	0	0	0	0	12
80	0	0	0	0	0	0	10
85	0	0	0	0	0	0	7
90	0	0	0	0	0	0	5
95	1089	182	11	28	0	0	2
COMPONENTS							
RANGE	INTENS	0/0	AREA	0/0	ABSORB	0/0	RANGE
0	217	36	90	255	19222	558	255
15	402	62	20	50	1402	41	81
61	1089	187	11	28	0	0	21

比分别列于其后。表 2 下面是算出的直方图相邻两谷点间成分 (COMPONENTS) 的强度、面积、消光数值。

6) 打印数字图形,将被测图形各点按扫描次序和坐标打出其透射光强和消光值。根据直方图和图形显示的情况,可选择只打印需要的图形上的各点数值。既可打印原始数据,也可以每个坐标用一个符号表示的“快速打印”输出。

7) 可按透射光或消光值以纸带穿孔输出原始数据,可用 ASCII 代码或八进制代码穿孔输出。也可换成任何一种代码输出。

8) 打印剖面图,因为扫描是逐行进行的,所以可把几行的扫描取样值进行处理,这样就可以看到至少是一行或几行的结果,并形象地打印其剖面图。

## 四、应 用

本装置目前主要应用于以下几个方面:

### 1. 小鼠小肠面积的测量

实验表明,电离辐射作用后,哺乳动物小肠粘膜表面积的变化,对辐射损伤生物效应的研究是一个有意义的指标。以前对小肠面积的测量多用目测法,即纵向剪开肠管后,分别测量上、中、下三段的宽度,然后取其均值再乘以小肠的长度,求出近似的小肠面积。因小肠横径不规则,因此,只能进行粗略的测量。用本装置测量,将每条小肠拍成一张 35 毫米的底片并附以标准面积,如图 8 所示。这种测量方法不但提高了精度而且测量速度快,结果可以重复。如对 10 只正常小鼠测得的小肠面积平均值及标准误差为:  $32.13 \pm 1.23$  厘米<sup>2</sup>

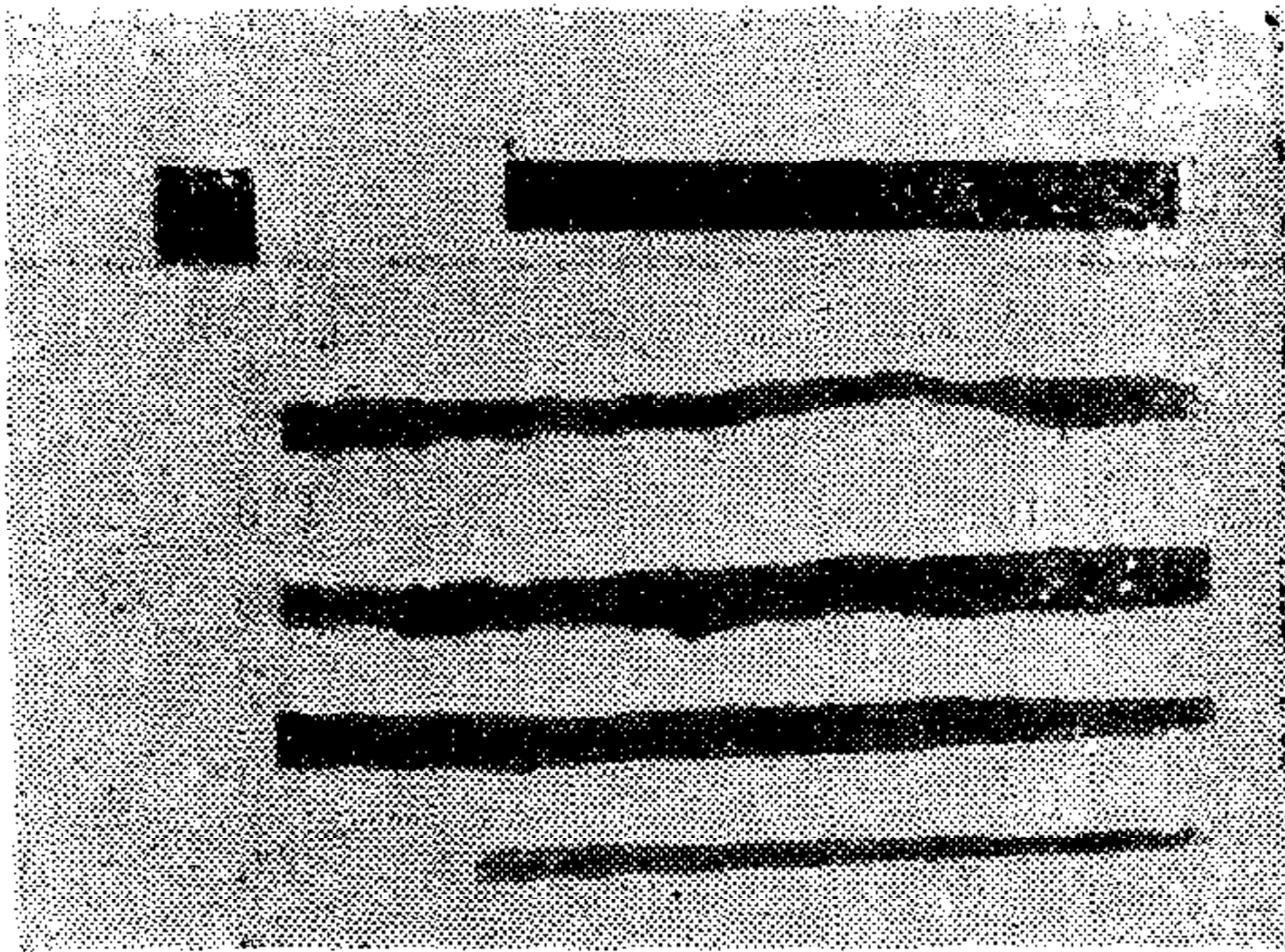


图 8 一条小肠和标尺(第一行)  
摄影底片的放大照片

### 2. 眼底烧伤斑面积的测量

由于眼的聚焦作用,可使视网膜入射光的能量密度较之角膜入射能量密度高约  $15^5$  倍。因此,当激光照射或核爆炸时光辐射的照射都能引起眼底的凝固、坏死以致爆裂造成视觉障碍。

眼底烧伤多呈“菊花”形或圆形,如图 9。为研究这种不规则损伤斑波及范围及能造成多大的视野障碍,就需要测出其斑点面积。通过用 KOWA-2 型眼底照相机拍摄激光照射兔眼的典型“菊花”形出血损伤斑,用本装置测量,结果对于造成眼底轻度出血斑的激光入射能量其损伤面积为  $0.67$  厘米<sup>2</sup>,人眼视力最敏感的黄斑区中心凹直径约  $0.2-0.4$  毫米,所张视角为  $1-1.5$  度。由上推论,激光致盲造成的这类损伤约为中心凹面积的 5 倍以上。预计造成视野中心暗点在 5 度以上,此结果为激光致盲提供部分生物依据。

在核爆炸情况下,将兔放在距爆心某一距离范围内,测出兔眼平均烧伤面积为  $1.26 \pm 0.10$  毫米<sup>2</sup>,损伤面积与距离呈负相关,相关系数  $r = -0.90$ ,此结果为核武器光辐射对视网膜烧伤提供直接数据。

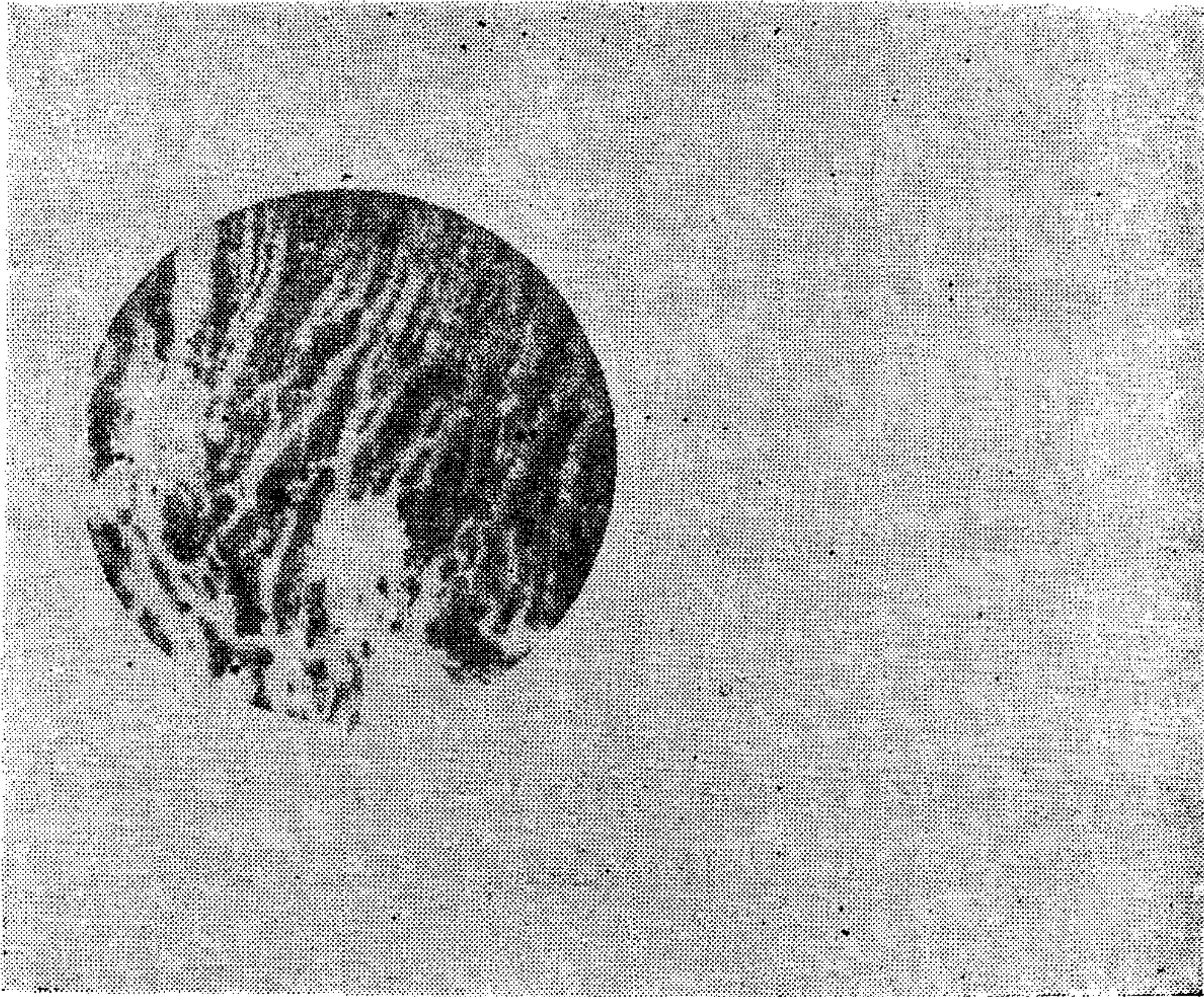


图9 激光照射后兔眼底出血斑

在测量过程中，经对标准图象进行多次重复测量，采用不同动物个体经多次扫描测量，阈值及电压等波动带来误差的变异系数为  $\pm 6\%$ ，说明面积测量精度能满足要求。

### 3. 胃排空面积的测量

为研究电离辐射对大鼠胃排空的作用规律，对动物在 2 毫升硫酸钡剂灌胃后不同时间进行胃部后前位 X 线拍片，并根据胃片面积大小来判断胃内残存的钡剂量，即胃对钡剂量的排空能力。大鼠胃片面积较小，落钡后即刻为  $2.79 \pm 0.8$  厘米<sup>2</sup>，灌钡后 6 小时可减至  $0.74 \pm 0.15$  厘米<sup>2</sup>，加之胃片形状不规则，并因动物及拍片时间不同而差异较大，因此，使用一般测量面积的方法难以获得准确数据。采用本装置对 605 张胃片进行了测量，并在测量胃片面积同时对 1 厘米<sup>2</sup> 的标准面积进行测量，以将所测得的胃片面积相对数值换算成绝对数值(厘米<sup>2</sup>)。以 19 只正常大鼠灌钡后即刻拍的胃片为例，对同一胃片经 4—6 次测量其值的标准误差为 0.1—0.8%。1 厘米<sup>2</sup> 标准面积在不同时间重复测量，所得相对数值为  $808 \pm 11.3$ ，误差范围为 1.4%。测量精度足以满足本实验数据分析的需要。

### 4. 图象数据获取中的应用

由于本装置的电子计算机较小，对于一些需要较为复杂数据处理的图象分析工作，可以按多灰度把数字图象信息穿成纸带到大机器上处理。到目前为止，本装置已用于指纹图象、人物照片、中文字符及细胞图象等方面的数据输出，都取得了较满意的效果。

## 五、讨 论

本装置是在电子计算机生物图象输入装置的基础上加以改进和提高，它作为生物图象的一般分析仪器，具有用计算机显示器作扫描光源，用程序控制扫描，图象信息可直接



存入小型计算机内存等特点,造价便宜,其功能以软件实现为主,便于扩大使用范围。但它的性能指标比国外先进的图象分析器尚差些。本装置配接在 PDP-12 小型计算机上,这种方法的设计思想可以转移到其它小型或微型计算机上。

本研究工作得到史元明副教授的大力支持,张双喜、王文宝等参加了有关工作,李元敏、徐碣敏、宋玲同志提供了使用情况,在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 刘长玺, BG314 四象限乘法器使用说明, 集成电路研究, 第四期, 第 25 页, 1979.  
 [2] 黄熙涛, 图片处理及数字滤波, 科学出版社, 273—300, (1980).

## AN IMAGE ANALYZER AND ITS APPLICATION TO BIOMEDICAL IMAGE PROCESSING

WU JIAJIN ZHANG XUEZONG CHEN HONGWEN FU WEIZHANG

(Institute of Basic Medical Sciences Academy of Military Medical Sciences)

### ABSTRACT

A medical image analyzing system in which a CRT electron light spot as light source is described. The light spot controlled by a PDP-12 computer is focused by simple optical techniques and scans on a 35 mm film. Then the transmitted light signals are converted to electrical digital signals and input to the computer.

The resolution is  $512 \times 512$ , and the grey levels of each pixel are more than 8 levels. Such system can be provided for solving many biomedical image processing problems.

## 中国自动化学会电气自动化委员会征文通知

中国自动化学会电气自动化委员会标准于 1983 年 4 季度召开一次有关可控硅直流传动技术方面的学术交流会(会址待定)。现将征文事项通知如下:

1. 征文范围 1) 大功率可控硅直流传动系统、中小功率直流特殊传动系统(如:宽调速系统、高精度稳速系统、快速可逆系统等)及装置的设计、计算、分析方法和运行经验。 2) 可控硅直流传动系统对电网的干扰及本身可靠性的分析、研究、措施与经验; 3) 微处理机在直流传动装置中的应用; 4) 控制理论在直流传动系统中的应用。

2. 征文要求 1) 应征论文要理论联系实际,反映国内先进水平; 2) 论文不超过 8000 字,用稿纸誊写,并自留底稿; 3) 已公开发表过的论文,不再征收。

3. 征文办法 1) 论文全文在 1983 年 6 月底前寄出; 2) 1983 年 8 月底前发出论文选用通知; 3) 应征论文寄天津市河东区二号桥天津电气传动设计研究所转 CAA-11 秘书组收。

(中国自动化学会电气自动化委员会)